



Получена: 30.12.2022 г.

Приета: 14.03.2023 г.

ГЕОДЕЗИЧНИ И ГЕОМАГНИТНИ ИЗМЕРВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПЛОЩАДКА ЗА КАЛИБРИРАНЕ НА КОМПАСИ НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ

И. Радев¹, М. Методиев², П. Трифонова³

Ключови думи: магнитна деклинация, геодезическа мрежа, геомагнитно измерване, площадка за калибриране на компаси, летище София

РЕЗЮМЕ

Понастоящем самолетните навигационни системи използват съвременни електронни уреди за ориентиране, но въпреки това магнитните компаси остават важна част от резервните им системи за сигурност. Инфраструктурата на всяко голямо летище трябва да разполага със специални площадки, на които се извършва настройка на самолетните компаси. Това е свързано с прецизно определяне на посоката на магнитния север, изискващо подобен тип площадки да се намират в условията на несмутено магнитно поле.

Настоящата работа описва методологията и резултатите от геодезично и геомагнитно проучване, проведено на летище София за изследване на пригодността на подобна площадка за калибриране на компасните системи на самолети. Трасирана е геодезична мрежа и са направени измервания на големината на тоталния интензитет на вектора на геомагнитното поле и магнитната деклинация. В резултат на това е определена подходящата зона за извършване на калибрационни процедури и са очертани основните магнитни смутители в района на площадката.

¹ Ивайло Радев, гл. ас. д-р инж., кат. „Висша геодезия“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivoradev_bg@abv.bg

² Методи Методиев, доц. д-р инж., Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3, 1113 София, e-mail: m.i.metodiev@gmail.com

³ Петя Трифонова, доц. д-р инж., Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3, 1113 София, e-mail: p.trifonova@abv.bg

1. Въведение

Магнитното поле на Земята се създава от много източници, разположени както отвън, така и под повърхността на нашата планетата. Започвайки от ядрото навън, те включват геомагнитното динамо, индуктивното и остатъчно намагнитване на земната кора, йоносферното динамо, кръговия ток около екватора, авроралните електроджети и т.н. Геомагнитното динамо, което се образува на границата между външното и вътрешното ядро на Земята, е най-важният източник, защото без полето, което то създава, другите източници не биха съществували.

Изменения на магнитното поле на Земята се наблюдават във всички времеви мащаби. Всеки от основните източници на полето е обект на промени, които предизвикват преходни вариации или смущения. Главното геомагнитно поле има две изменения: квазипериодични преобръщания и секуларни (векови) вариации. Йоносферното динамо се смущава от сезонните и слънчевите циклични промени, както и от слънчевите и лунните приливни ефекти. Кръговият ток реагира на слънчевия вятър (йонизираната атмосфера на слънцето, която се разширява навън в космоса, отнасяйки със себе си слънчевото магнитно поле), нараствайки по сила, когато се наблюдават изригвания и се формира магнитна буря.

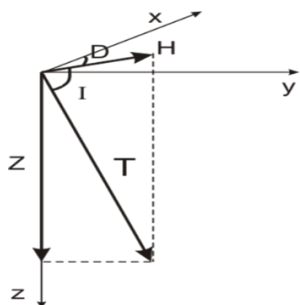
Магнитните полета могат да се измерват по различни начини. Най-простата техника за измерване, която все още се прилага и днес, включва използването на компас, устройство, състоящо се от постоянно намагнетизирана стрелка, която е балансирана да се върти в хоризонталната равнина. При наличие на магнитно поле и при липса на гравитация, магнетизираната игла се подравнява точно по направлението на вектора на магнитното поле. Когато се балансира за въртене в присъствието на гравитация, тя се ориентира по допирателната на силовата линия на Земяното магнитно поле в тази точка. Това е посоката на хоризонталната проекция на вектора върху земната повърхност, наречена хоризонтална компонента.

Използването на магнитен компас като уред за навигиране датира някъде от средата на 11 век и се открива в писмени източници на китайската литература. Типичният китайски навигационен компас е бил под формата на магнитна стрелка, плаваща в купа с вода. Основната функция на компаса е да показва посоката на северния магнитен полюс, наречен „магнитен север“. В навигацията обаче посоките на картите се изразяват по отношение на географския или „истинския север“, посоката към географския северен полюс. Тъй като магнитните полюси на Земята са близо, но не са на същите места като нейните географски полюси, компасът не сочи към истинския север. В зависимост от това къде се намира компасът на повърхността на Земята, ъгълът между истинския (географски) север и магнитния север, наречен магнитна деклинация, може да варира в широки граници.

2. Магнитна деклинация. Времеви вариации на геомагнитното поле

Ако в дадена точка (т. О) поставим началото на правоъгълна координатна система (фиг. 1), така че оста x да е насочена на север по географския меридиан, оста y на изток и оста z – вертикално надолу, то векторът на тоталния интензитет на магнитното поле, определен на територията на България, ще се ориентира в равнината на магнитния меридиан, която на нашите географски ширини в момента (2022 г.) сключва ъгъл с равнината на географския меридиан от порядъка на 5° . Този ъгъл се нарича магнитната

деклинация, бележи се с D и е един от двата ъглови елемента, описващи вектора на магнитното поле на Земята в пространството. Същият този вектор \vec{T} на територията на България ще бъде наклонен на около 60° спрямо равнината на земната повърхност, нарича се магнитна инклинация и се бележи с I .



Елементи на Земято магнитно поле

- Вектор на тоталния интензитет (T)
- Хоризонтална компонента (H)
- Вертикална компонента (Z)
- Деклинация (D)
- Инклинация (I)

Фиг. 1. Елементи на геомагнитния вектор в триизмерна правоъгълна координатна система с ос x в посоката на географския север, ос y – на изток и ос z надолу

Проекцията на вектора на тоталния интензитет \vec{T} в равнината XOY , съвпадаща със земната повърхност, се нарича хоризонтална съставяща (компонента), а проекцията му Z върху оста z – вертикална съставяща (компонента). Проекциите X и Y на H , съответно върху осите x и y , се наричат северна и източна съставящи [1].

Вертикалната равнина, в която лежи вектор \vec{T} , е равнината на магнитния меридиан. Направлението на хоризонталната компонента \vec{H} определя направлението на магнитния меридиан и стойността на деклинацията D , която в координатната система на фиг. 1 представлява ъгълът между H и оста x .

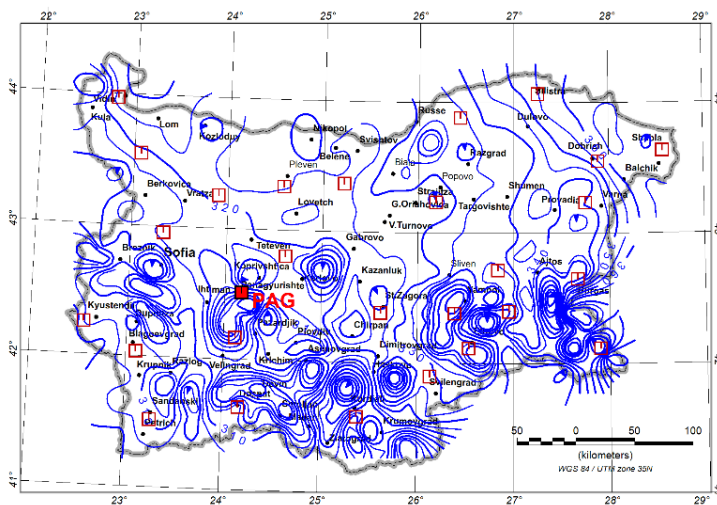
Векторите \vec{T} , \vec{H} , \vec{Z} , \vec{X} , \vec{Y} и ъглите D и I се наричат елементи на земното магнитно поле и между тях съществуват следните връзки:

$$\begin{aligned} Z &= T \sin I, & Z &= H \tan I, & H &= T \cos I, \\ T &= \sqrt{H^2 + Z^2}, & X &= H \cos D, & Y &= H \sin D. \end{aligned} \quad (1)$$

Очевидно, за да се определи напълно вектор \vec{T} , трябва да се знаят елементите H , Z и D или H , D и I или X , Y и Z и по тях могат да се изчислят всички останали.

При магнитни снимки на големи области като територията на нашата страна се определят T , H , D и I . По резултатите от измерванията се строят различни видове геомагнитни карти. Върху тях чрез изолинии се представя разпределението на стойностите на даден елемент на полето, като изолиниите върху картата на деклинацията се наричат изогони, на инклинацията – изоклини, а на хоризонталната и вертикалната компонента – изодинами.

Стойностите на елементите на земното магнитно поле непрекъснато се менят и по място и по време. Измененията им се наричат вариации и в зависимост от периода, за който се разглежда вариацията, се различават денонощни, сезонни, годишни и векови вариации. При съставянето на геомагнитна карта на някой от елементите на полето трябва стойностите му във всички точки на картата да бъдат отнесени към някакъв точно определен момент, който се нарича епоха. На фиг. 2 е представена картата на магнитната деклинация за епоха 2020.0.



Фиг. 2. Карта на пространственото разпределение на деклинацията D на територията на България за епоха 2020.0. Стойностите на изгоните се изменят от $310'$ на югозапад до над $350'$ на североизток

Както вече беше споменато, магнитната деклинация варира както от място на място, така и с течение на времето поради магнитните промени в ядрото на Земята. Тези промени предизвикват и наблюдавания полярен дрейф, който представлява изменения в позицията на северния и южния магнитен полюс [2]. Понастоящем северният магнитен полюс се намира на приблизително 1000 километра (600 мили) от географския северен полюс. Полюсът се изменява значително всеки ден и от 2007 г. се движи с около 55 до 60 km (34 до 37 мили) годишно в резултат на това явление. Съвременният (2020) магнитен полюс се намира отвъд канадската част на Арктика с координати $86^{\circ} 29' 38.4''$ N, $162^{\circ} 52' 1.2''$ E [3].

Не само деклинацията и положението на магнитните полюси, а всички елементи на магнитното поле на Земята бавно се променят във времеви мащаби, които варират от години до хилядолетия. Такива промени се наричат векова или секуларна вариация. Секуларната вариация е разпозната за първи път през 1634 г., когато английският математик Хенри Гелибранд (Henry Gellibrand) сравнява измерванията на магнитната деклинация, които е направил в Лондон, с по-ранни наблюдения [4]. Наблюденията на деклинацията, направени в Лондон през годините, представляват едни от най-добрите записи на светските вариации. В тях е документирано, че деклинацията се е променила от приблизително 10° E в края на XVI век до 25° W в началото на XIX век, преди да се върне към сегашната стойност от около 3° W.

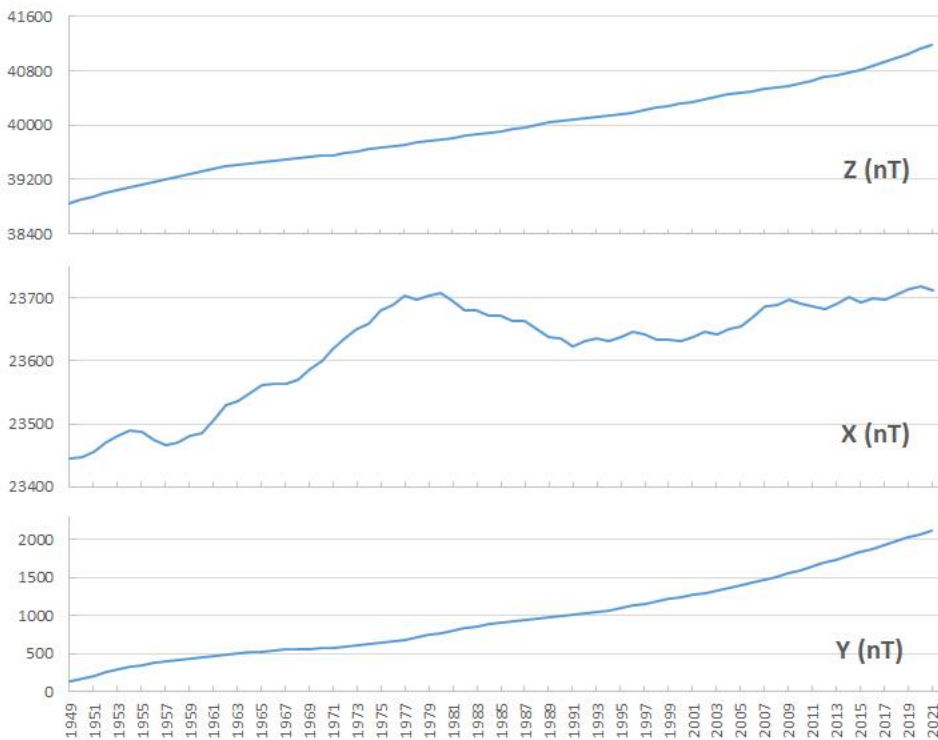
Анализите на секуларната вариация показват, че по-голямата част от нея може да бъде описана чрез три процеса: 1) намаляване на силата на диполната част на магнитното поле; 2) дрейф на запад, установен в недиполната част на магнитното поле и 3) промени в недрейфиращата част на недиполното поле.

Сравнението на диполната част на магнитното поле, изчислено от сферични хармонични модели, произведени за различни години, показва, че силата на дипола намалява от началото на деветнадесети век. Археомагнитни доказателства показват, че това намаление всъщност се е случвало през последните две хиляди години и че силата на дипола сега е само около половината от това, което е било преди две хилядолетия.

Най-трудни за изучаване са вариациите във времеви диапазон от няколко години до декади, където влиянията от външни и вътрешни източници се застъпват. Въпреки това, една изключително интересна особеност на секуларните вариации се проявява именно в тези сравнително кратки времеви интервали на полето на ядрото, които можем да наблюдаваме след разпространението им в слабо проводимата мантия като т.нар. геомагнитни импулси или „jerks“.

Произходът на геомагнитните импулси все още е неясен. Съществуват глобални модели, проектирани специално за изучаване на късо-периодичните секуларни вариации. Те предполагат, че в под-декаден времеви диапазон се наблюдават по-големи секуларни вариации, отколкото се смяташе досега. Освен това се наблюдават допълнителни явления на различни места и по различно време, подобни на геомагнитните импулси, но по-малко изявени [5].

На фиг. 3 е представена вариацията на елементите X , Y и Z , измерени в Геомагнитна обсерватория Панагюрище за последните 70 години.



Фиг. 3. Изменение на стойностите на елементите на земното магнитно поле X , Y и Z , измерени в Геомагнитна обсерватория Панагюрище за последните 70 години

Късо-периодичните вариации от секунди до дни се дължат главно на външни източници. Такива източници могат да бъдат влиянието на слънчевата активност и слънчевата вариабилност върху магнитосферата и йоносферата. Сред най-честите причинители на тези явления са напр. короналните изригвания, секторните граници на слънчевия вятър и промените в ориентацията на междупланетното магнитно поле. Също така влияние оказват и някои регулярни вариации в нагряването на атмосферата и проводимостта на йоносферата при взаимодействието ѝ със слънчевата радиация.

Всички тези променливи външни полета индуцират токови системи вътре в Земята, които на свой ред създават променливи, индуцирани магнитни полета. Техните характеристики са в зависимост от електрическата проводимост на повърхностните слоеве на кората.

Друг вид вторични, индуцирани полета, вариращи в кратки времеви периоди, са породени от океаните. Движението на електрически проводимата океанска вода през геомагнитното поле генерира вторични магнитни полета посредством индукционни магнитно-хидродинамични процеси.

Сигналите от късо-периодичните вариации се явяват пречещи при провеждане на геомагнитни измервания, било то за геоложки или инженерни цели. Ето защо, тяхната регистрация е изключително важна, както и задължителното им отчитане при обработката на полевите данни.

3. Процедура за калибриране на бордови резервен компас в самолет

Съществуват два вида процедури, които могат да се използват за калибриране на компасните системи на самолета. Първата процедура трябва да има изградена компасна роза на мястото на калибриране (фиг. 4). В този случай магнитните азимутни маркировки, боядисани като радиали на всеки 30 градуса, се нанасят върху подложката за калибриране, така че самолетът да може да бъде точно ориентиран по тях, изпълнявайки „процедура на люлеене на компаса“.



Фиг. 4. Пример за компасна роза на летището Martin County, Флорида, САЩ

Ако на летището няма проектирана роза на компаса, корекциите за магнитното влияние върху бордовите сензори за магнитно поле могат да се направят с помощта на алтернативна процедура за люлеене. Тя се състои в калибриране на резервния компас според показанията на основната електронна система на самолета (Electronic Horizontal Situation Indicator, EHSI). По време на процедурата за настройка самолетът се завърта последователно на север, изток, юг и запад и се записват разликите между магнитните направления на EHSI и направленията на компаса. С помощта на тези резултати се изчисляват стойностите на настройката и компасът в режим на готовност се коригира с

помощта на немагнитна отвертка. След процедурата по калибриране трябва да бъде подготвена карта за корекция на компаса за резервния магнитен компас, като се завърта самолетът за всяко увеличение на курса от 30°.

4. Технически изисквания към площадките за калибриране на самолетни компаси

Изискванията за избор на място за калибриране на резервните компаси на самолетите са свързани с необходимостта да се осигурят постоянни, стабилни стойности на магнитната деклинация на площадката и да се оцени въздействието на потенциални смушаващи фактори, представени от различни обекти, влияещи върху геомагнитното поле (напр. шахти, електрически стълбове, канализация и др.).

Общите изисквания на FAA (the Federal Aviation Administration) за сертифициране на зоната на компенсационната площадка са минимум 180 метра разстояние от големи магнитни обекти като сгради, пътища и оборудване с високо напрежение и локализиране на малки обекти в радиус от 75 метра от центъра на обекта [6].

Съгласно техническите изисквания на производителите на системи за резервни компаси на Airbus 320 и Boeing 737, посочени в описанието на процедурата за компенсация на компаса, критерият за хомогенност на магнитната деклинация на територията на площадката е вариация в рамките на $\pm 1^\circ$.

5. Методология на измерването

5.1. Трасиране на мрежа

На базата на първични изследвания, направени през 2008 г., северната правообледенителна площадка на летище София (фиг. 5) е избрана за проверка на съответствието ѝ с изискванията към местата за калибриране на резервните компасни системи на самолети. С помощта на тотална станция Leica Geosystems е трасирана правоъгълна измервателна мрежа с размери 70×80 m и разстояние между точките 10 m. Два постоянни близко разположени обекта с пряка видимост от площадката бяха използвани като маркери за мира с определен географски азимут, необходими при абсолютните измервания за определяне на елементите на земното магнитно поле, в това число и деклинацията.

5.2. Общо теренно проучване с измерване на тоталния интензитет на магнитното поле

Стойностите на тоталния интензитет на магнитното поле бяха измерени с протонен магнитометър GSM19 във всяка точка от мрежата.

GSM-19 е преносим магнитометър, работещ на принципа на Овърхаузер ефекта, с висока чувствителност, проектиран за ръчно държане. За разлика от стандартния сензор, използван при протонните магнитометри, който използва богата на протони течност, при сензора с Overhauser ефект има добавен свободен радикал. Този свободен радикал осигурява наличието на свободни, несдвоени електрони, които се свързват с протони, създавайки система с два спина. Използва се силно RF магнитно поле, за да наруши

електрон-протонното свързване. Чрез насищане на резонансни линии със свободни електронни, поляризацията на протоните в сензорната течност се увеличава значително. По този начин уредите, работещи на принципа на Овърхаузер ефекта, предлагат по-мощен метод за протонна поляризация от стандартната DC поляризация (т.е. по-силни сигнали се постигат от по-малки сензори и с по-малко мощност). Инструментът е изключително подходящ за геофизични, геотехнически и археологически проучвания.

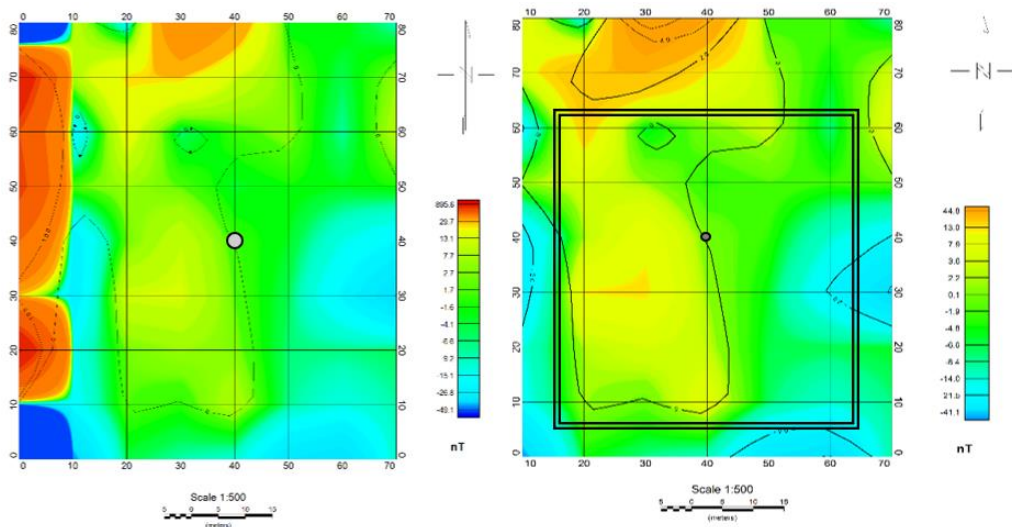


Фиг. 5. Северна противообледенителна площадка на летище София, изследвана за компенсационна площадка за калибриране на резервните компасни системи на самолети

Паралелно с редовите измервания по профилите на мрежата са направени и четири контролни измервания на точката, разположена в центъра, за да се наблюдават промените на полето *in situ* и да се оцени стабилността на апарата. Получените данни са коригирани за отстраняване на денонощния ход на полето по данните от непрекъснатата регистрация на компонентите в Геомагнитна обсерватория Панагюрище и са изчертани карти, показващи вариациите на тоталния интензитет на територията на компенсационната площадка.

Големината на вектора на тоталния интензитет на геомагнитното поле на територията на изследваната площадка варира в границите 46495 – 48052 nT. Причина за този сравнително голям интервал на изменение е присъствието на смущаващи обекти в непосредствена близост. Основни смутители се явяват металните шахти, разположени от източната част на площадката и електрическите съоръжения в северната част. На фиг. 6а е представена карта на изменението на тоталния интензитет на геомагнитното поле спрямо точката, разположена в центъра на трасираната мрежа.

На картата се вижда, че влиянието на смущаващите обекти затихва бързо с отдалечаване от тях. Това е благоприятен ефект и се дължи на неголемия размер на пречещите тела. На фиг. 6б е показано състоянието на магнитното поле на разстояние 10 m от металните шахти, намиращи се в източния край на площадката. Вариацията в стойностите на полето е на един порядък по-ниска (от -46 до 80 nT), като отново екстремалните стойности се получават само в краищата. На преден план излиза ефектът, причинен от електрическото табло в северната част (маркиран с оранжев цвят на картите на фиг. 6).



Фиг. 6. а) Относително изменение на стойностите на тоталния интензитет на геомагнитното поле спрямо централната точка от площадката и б) същите стойности, без ефекта, получен от влиянието на металните шахти, разположени в източния край на площадката

Във вътрешността на площадката уверено се проследява зона с приблизителни размери 50×70 m (маркирана с правоъгълна рамка на фиг. 6б), в която градиентът на магнитното поле е незначителен (под 2 nT/m).

Този факт определя площадката като несмутена по отношение на изменението на големината на тоталния вектор на геомагнитното поле при спазване на минимум 10 m отстояние от локализираните обекти (метални шахти в източния край и електрически съоръжения в северния).

5.3. Измерване на магнитната деклинация

Въз основа на резултатите от измерването на големината на тоталния интензитет на геомагнитното поле са определени оптималният брой и разположението на точките, в които да бъде измерена стойността на геомагнитната деклинация. Точките са девет на брой, и са означени с черни кръгчета на картата на деклинацията (фиг. 8) и с червено на геодезическата схема на фиг. 9.

Измерванията са направени с Bartington Fluxgate Magnetometer MAG-01H, монтиран на немагнитен теодолит НЕО 015В в 9 точки от същата мрежа. Теодолитът беше центриран и нивелиран над всяка точка на измерване. Измерванията бяха извършени в четирите позиции [7] с 3 отчитания във всяка позиция. Времето на всяко измерване беше отбелязано с помощта на часовник с точност до една секунда. Резултатите от измерванията са представени в табл. 1. Големината на тоталния вектор на магнитния интензитет се изменя от 47087 nT до 47114 nT, а деклинацията от 4°15.87' до 4°30.80'.

Във всяка точка са извършени по 2 независими измервания от двама наблюдатели (фиг. 7). Разположението на точките е такова, че да позволява определянето на градиента на полето в четирите географски посоки. Данните са обработени, отстранен е дневният ход на геомагнитното поле и е изчислена стойността на деклинацията във всяка точка. Построена е карта на деклинацията за цялата територия на площадката.

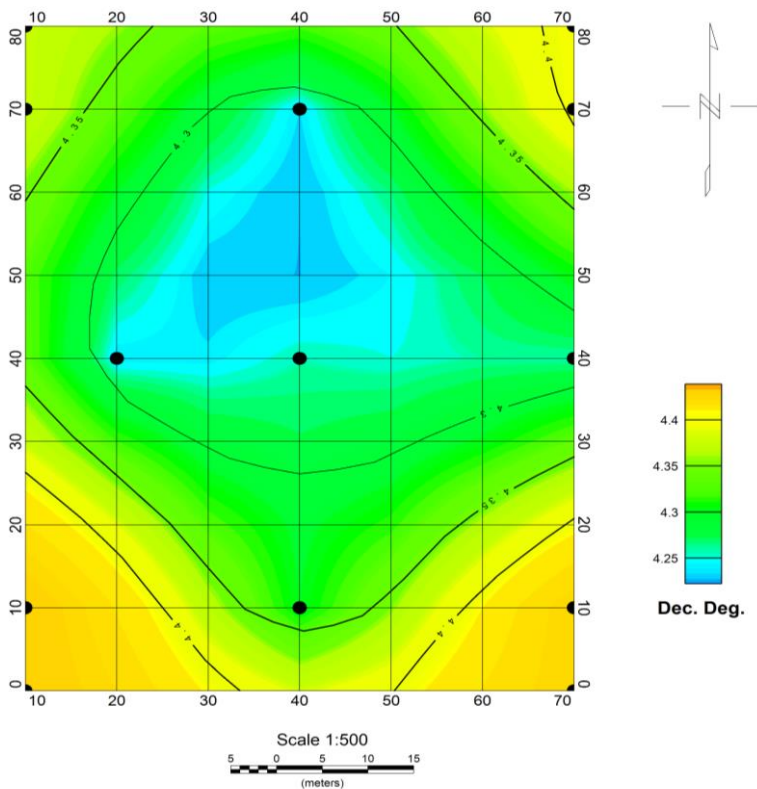
Таблица 1 Стойности на елементите на полето от абсолютните геомагнитни измервания в девет точки от мрежата

точка №	измерване	D		H	Z	I		F
		градуси	минути	nT	nT	градуси	минути	nT
11	1	4	28,95	23734,4	40598,5	59	41,30	47087,6
	1	4	18,33	23744,8	40611,5	59	41,10	47102,8
14	2	4	18,09	23745,0	40611,9	59	41,10	47104,9
	1	4	30,80	23762,0	40573,7	59	38,60	47079,4
17	2	4	30,78	23760,5	40574,6	59	38,70	47079,4
	1	4	16,08	23756,5	40595,4	59	39,80	47098,9
39	2	4	15,87	23754,5	40595,4	59	39,90	47100,5
	1	4	16,80	23737,1	40605,6	59	41,30	47110,0
41	2	4	16,64	23739,4	40604,2	59	41,20	47110,0
	1	4	16,71	23712,9	40597,6	59	42,60	47097,8
44	2	4	16,39	23712,6	40596,6	59	42,56	47094,2
	1	4	24,65	23734,8	40614,2	59	41,81	47120,2
65	2	4	24,75	23736,2	40614,3	59	41,73	47114,1
	1	4	16,11	23748,4	40611,3	59	40,86	47117,5
68	2	4	15,88	23747,0	40612,3	59	40,99	47113,9
	1	4	22,70	23759,8	40598,0	59	39,66	47108,0
71	2	4	22,60	23760,5	40597,3	59	39,59	47104,7



Фиг. 7. Екипът, извършил геодезическите и геомагнитните измервания на площадката на летище София

Резултатите от изследването показват, че деклинацията, изчислена в десетични градуси, се мени в интервала $4,26^{\circ} - 4,51^{\circ}$. Градиентът на стойностите на територията на площадката е показан на картата на фиг. 8. Изолиниите на картата са през $0,05^{\circ}$, което отговаря на $0,3'$.



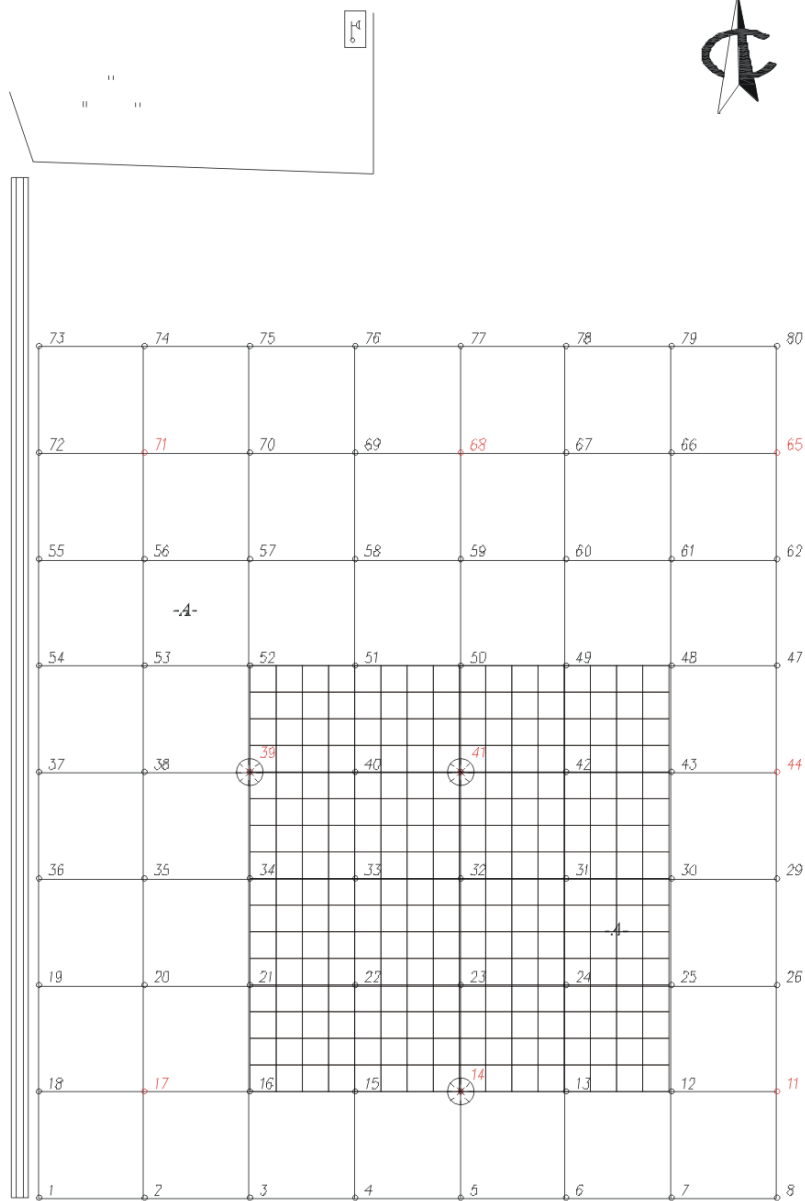
Фиг. 8. Относително изменение на стойностите на деклинацията спрямо централната точка, на разстояние 10 m от металните шахти, разположени в източния край на площадката

Максималното отклонение в стойностите на деклинацията е $0,25^\circ$ ($15'$) за цялата територия на площадката при спазено отстояние 10 m от шахтите в източната част, което я определя като подходяща за извършване на калибровка на резервните компасни системи на самолети Airbus 320 и Boeing 737, съгласно изискванията на производителя.




6. Геодезическа схема за експлоатация на площадката и стабилизиране на реперни точки

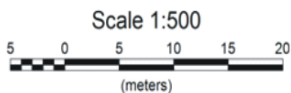
На базата на анализирани стойности на полето на тоталния интензитет и измерените стойности на магнитната деклинация е изготвена геодезическа схема за експлоатация на площадката (фиг. 9). На нея е нанесена измервателната мрежа и наличните физически обекти на терена. Определени и стабилизирани с немагнитни болтове (фиг. 10) са три реперни точки от измервателната мрежа, подходящи за периодично преизмерване на компонентите на магнитното поле и проследяване на годишните изменения на техните стойности на територията на площадката (т. 14, т. 39 и т. 41 на фиг. 9). Поставената маркировка може да бъде използвана като ориентир за позициониране на самолетите при извършване на калибрационните процедури на резервните им компасни системи.

Схема на компенсационната площадка.



Легенда

-  Постоянни маркери
-  Точка от измервателната мрежа
-  Препоръчителна зона за калибровка на комп. с-ми.



Фиг. 9. Геодезическа схема на измервателната мрежа и поставените маркери

7. Заключение

На базата на проведеното изследване на компонентите на геомагнитното поле (големина на тоталния интензитет и магнитната деклинация) на западната площадка за противообледенителна обработка на самолети на летище София, в зоната между пътеки за рулиране А и В, може да се заключи, че последната отговаря на посочените технически изисквания и може да бъде използвана като компенсационна площадка за калибриране на резервните компасни системи на самолети.

За избягване на негативното влияние на съществуващите магнитни смутители в района е удачно използването на част от площадката с размери 40×40 m, отбелязана на приложената схема (фиг. 9). За по-лесна ориентировка на терена могат да бъдат използвани поставените на асфалта постоянни маркери (фиг. 10).



Фиг. 10 Немагнитен болт, поставен в една от фиксираните реперни точки на площадката

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор 229/19.04.2011 е подкрепена финансово от Луфтханза Техник София.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dimitrov, L., Stavrev, P.* Magnitni metodi v geofizikata. Sofia, 1986 (in Bulg.).
2. Geomagnetism, North Magnetic Pole. Geological Survey of Canada. Natural Resources Canada. http://gsc.nrcan.gc.ca/geomag/nmp/northpole_e.php.
3. *Nair, Manoj C.* Wandering of the Geomagnetic Poles | NCEI. ngdc.noaa.gov.
4. *Malin, S. R. C.* Gellibrand, Henry (1597 – 1636). In: Gubbins, D., Herrero-Bervera, E. (eds) Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer, Dordrecht 2007. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4423-6_106.
5. *Wardinski, I.* Core surface flow models from decadal and subdecadal secular variations of the main geomagnetic field. PhD thesis., Berlin: Free University Berlin, 2004.
6. *Berarducci, A.* Airport geomagnetic survey in the United States. In: Rason, J. L. and Delipetrov, T. (Ed) Geomagnetism for Aeronautical Safety, Springer, 247-258, 2006.
7. *Jankowski, J., Sucksdorf, C.* Guide for magnetic measurements and observatory practice. IAGA, 235 p., 1996.

GEODETIC AND GEOMAGNETIC MEASUREMENTS FOR DESIGNATION OF COMPASS CALIBRATION SITE AT SOFIA AIRPORT

I. Radev¹, M. Metodiev², P. Trifonova³

Keywords: magnetic declination, geodetic grid, geomagnetic measurement, compass calibration site, Sofia airport

ABSTRACT

Aircraft navigation systems now use advanced electronic direction finding devices, yet magnetic compasses remain an important part of their backup security systems. The infrastructure of every major airport must have special areas where aircraft compasses are adjusted. This is related to the precise determination of the direction of magnetic north, requiring such sites to be located in the conditions of undisturbed magnetic field.

The present work describes the methodology and results of a geodetic and geomagnetic survey conducted at Sofia Airport to investigate the suitability of such a site for calibrating aircraft compass systems. A geodetic grid is set and measurements are made of the magnitude of the total intensity of the geomagnetic field vector and the magnetic declination. As a result, the appropriate area to perform calibration procedures is determined and the main magnetic disturbers in the site area are delineated.

¹ Ivaylo Radev, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: ivoradev_bg@abv.bg

² Metodi Metodiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., bl. 3, Sofia 1113, e-mail: m.i.metodiev@gmail.com

³ Petya Trifonova, Assoc. Prof. Dr. Eng., National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., bl. 3, Sofia 1113, e-mail: p.trifonova@abv.bg